

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-098585

(43)Date of publication of application : 10.04.2001

(51)Int.Cl.

E02F 9/20

E02F 9/26

G01S 5/14

(21)Application number : 11-281679

(71)Applicant : KOMATSU LTD

(22)Date of filing : 01.10.1999

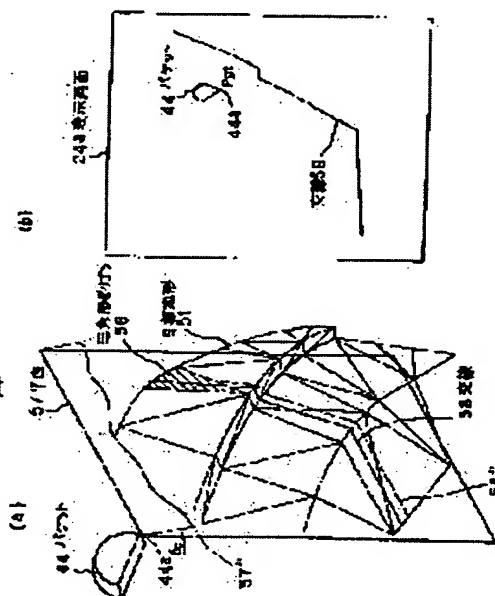
(72)Inventor : KAGEYAMA MASAHIRO

(54) EXCAVATING WORK GUIDANCE DEVICE AND EXCAVATION CONTROL DEVICE FOR CONSTRUCTION MACHINE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To accurately excavate even complicated three-dimensional topography changing in a shape of the excavating topography as target topography according to a movement of a construction machine and according to a movement of an excavating work machine such as a bucket.

SOLUTION: A crossing line 58 of a plane 57 passing through a three-dimensional position of a present bucket 44 and three-dimensional target topography 51 is arithmetically operated, and a position of the crossing line 58 for showing the three-dimensional target topography 51 and a position of the bucket 44 are displayed on the same image screen 24a.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or

application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-98585

(P2001-98585A)

(43) 公開日 平成13年4月10日 (2001.4.10)

| (51) Int.Cl. ⁷ | 識別記号 | F I | テームコード* (参考) |
|---------------------------|------|--------------|--------------|
| E 0 2 F | 9/20 | E 0 2 F 9/20 | N 2 D 0 0 3 |
| | 9/26 | | Q 2 D 0 1 5 |
| G 0 1 S | 5/14 | G 0 1 S 5/14 | A 5 J 0 6 2 |

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平11-281679

(22) 出願日 平成11年10月1日 (1999.10.1)

(71) 出願人 000001236

株式会社小松製作所

東京都港区赤坂二丁目3番6号

(72) 発明者 影山 雅人

神奈川県川崎市川崎区中瀬3-20-1 株式会社小松製作所システム開発センタ内

(74) 代理人 100071054

弁理士 木村 高久 (外1名)

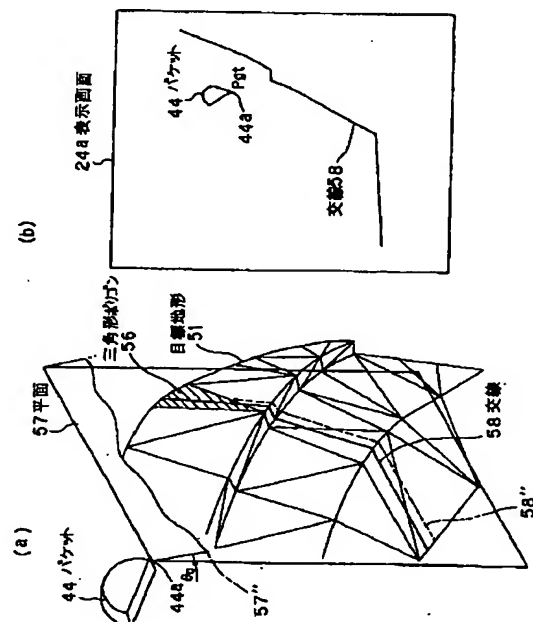
Fターム(参考) 2D003 AA01 AB03 AB04 AC06 BA01
BA02 BA06 BB04 DA04 DB04
DB05 FA02
2D015 HA03 HB04 HB05
5J062 BB01 BB08 CC07 EE04

(54) 【発明の名称】 建設機械の掘削作業ガイダンス装置および掘削制御装置

(57) 【要約】

【課題】 建設機械が移動するに応じてまたバケット等の掘削用作業機が移動するに応じて、その掘削すべき地形の形状が変化する複雑な3次元地形であっても、目標とする地形に精度よく掘削することができるようにする。

【解決手段】 現在のバケット44の3次元位置を通過する平面57と、3次元目標地形51との交線58が演算され、3次元目標地形51を示す交線58の位置とバケット44の位置とが同一画面24a上に表示される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 掘削用の作業機を作動させて 3 次元の地形を 3 次元の目標地形にする掘削作業を行う建設機械に適用され、当該掘削作業をガイダンスする建設機械の掘削作業ガイダンス装置において、
前記掘削用作業機の 3 次元位置を計測する位置計測手段と、

前記位置計測手段により計測した掘削用作業機の位置を通過する平面を演算する平面演算手段と、

前記平面演算手段によって演算された平面を示すデータと、前記 3 次元目標地形を示すデータとに基づいて、前記平面と前記 3 次元目標地形との交線を演算する交線演算手段と、

前記交線演算手段によって演算された前記 3 次元目標地形を示す交線の位置と前記掘削用作業機の位置との相対位置関係を提示する提示手段とを具えたことを特徴とする建設機械の掘削作業ガイダンス装置。

【請求項 2】 作業機の先端部にバケットが設けられ、当該作業機を作動させて 3 次元の地形を 3 次元の目標地形にする掘削作業を行う建設機械に適用され、当該掘削作業をガイダンスする建設機械の掘削作業ガイダンス装置において、

前記バケットの 3 次元位置を計測する位置計測手段と、前記位置計測手段により計測したバケット位置を通過する平面を演算する平面演算手段と、

前記平面演算手段によって演算された平面を示すデータと、前記 3 次元目標地形を示すデータとに基づいて、前記平面と前記 3 次元目標地形との交線を演算する交線演算手段と、

前記交線演算手段によって演算された前記 3 次元目標地形を示す交線の位置と前記バケットの位置とを同一画面上に表示する表示手段とを具えたことを特徴とする建設機械の掘削作業ガイダンス装置。

【請求項 3】 前記位置計測手段は、前記バケットの先端の 3 次元位置を計測するものであり、

前記平面演算手段は、前記バケットの先端位置を通過する平面を演算するものであることを特徴とする請求項 2 記載の建設機械の掘削作業ガイダンス装置。

【請求項 4】 前記掘削用作業機または前記バケットはアクチュエータが駆動されることにより作動するものであり、

前記平面演算手段は、前記アクチュエータが駆動されたときに前記掘削用作業機または前記バケットが作動する面を含む平面を演算するものであることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の建設機械の掘削作業ガイダンス装置。

【請求項 5】 現在の 3 次元地形データと、目標構造物の縁部の形状を示すデータと、法面の形状を示すデータとに基づいて、前記目標構造物の縁部を法尻とする 3 次元目標地形のデータを作成する 3 次元目標地形データ作

成手段をさらに具えたことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の建設機械の掘削作業ガイダンス装置。

【請求項 6】 掘削用の作業機を作動させて 3 次元の地形を 3 次元の目標地形にする掘削作業を行う建設機械に適用され、前記掘削用作業機を制御する建設機械の掘削制御装置において、

前記掘削用作業機の 3 次元位置を計測する位置計測手段と、

前記位置計測手段により計測した掘削用作業機の位置を通過する平面を演算する平面演算手段と、

前記平面演算手段によって演算された平面を示すデータと、前記 3 次元目標地形を示すデータとに基づいて、前記平面と前記 3 次元目標地形との交線を演算する交線演算手段と、

前記交線演算手段によって演算された前記 3 次元目標地形を示す交線を、目標移動経路とし、当該目標移動経路に沿って前記掘削用作業機が移動するように当該掘削用作業機を制御する制御手段とを具えたことを特徴とする建設機械の掘削制御装置。

【請求項 7】 掘削用の作業機を作動させて 3 次元の地形を 3 次元の目標地形にする掘削作業を行う建設機械に適用され、掘削用操作手段の操作に応じて前記掘削用作業機を制御する作業機コントローラを備えた建設機械の掘削制御装置において、

前記建設機械に外部より装着自在であって、前記 3 次元目標地形のデータを、前記作業機コントローラに出力する外部コントローラと、

前記掘削用操作手段の操作に応じて前記掘削用作業機を制御する第 1 の制御モードと、前記 3 次元目標地形データに基づき当該 3 次元目標地形上の目標移動経路に沿って前記掘削用作業機が移動するように当該掘削用作業機を制御する第 2 の制御モードのいずれかの制御モードを選択する制御モード選択手段と、

前記外部コントローラが前記建設機械に装着されているか否かを判断する判断手段と、

前記判断手段によって前記外部コントローラが前記建設機械に装着されていると判断された場合には、前記制御モード選択手段の選択結果に応じた制御モードを前記作業機コントローラで実行させ、前記判断手段によって前記外部コントローラが前記建設機械に装着されていないと判断された場合には、前記制御モード選択手段の選択いかんにかかわらず前記第 1 の制御モードを前記作業機コントローラで実行させることを特徴とする建設機械の掘削制御装置。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】本発明は、掘削用作業機を備えた建設機械に関する。特にバケットなどの掘削用作業機を作動させて 3 次元の地形を 3 次元の目標地形にする掘削作業を行う際に掘削作業をガイダンスする装置に関

する。また上記掘削用作業機を制御する装置に関する。

【0002】

【従来の技術】土木作業における法面の掘削は、作業者の技量が最も要求される作業の一つである。たとえば傾斜地に道路、鉄道またはビルなどの構造物を構築する場合には、まず最初に切土または盛土などの作業を行って必要な地盤を形成する。そしてその地盤の周囲の地面の崩壊を防ぐために法面を形成する。

【0003】この法面の加工をおこなう際には、高度な加工精度が要求される。特に切土部分つまり掘削によって得られる斜面に要求される加工精度は極めて高い。

【0004】また掘削していない地山と掘削により掘り起こされた地山とは、その土の量に変化する。掘り起こされた地山部分ではその密度が低くなっており、掘削していない地山と比べてその強度が低下する。したがって余分な掘削（これを余堀りと呼ぶ）を行ってしまうと地盤の強度が低下する。このため法面の掘削をおこなう際には、余堀りはできる限り避けねばならない。一旦、余堀りを行ってしまうと、単に埋め戻すだけでは足りず、コンパクタなどを用いて法面を十分に締め固める必要があり、その分作業の遅延を招くからである。このように法面の掘削作業は極めて精密に行わねばならず、むやみに余堀りを行うことはできない。

【0005】掘削前の原地盤は、掘削後の目標法面よりも当然高いところに位置している。このため目標の法面を直接水系などで指示することはできない。そこで従来より法面の掘削作業は油圧ショベルによってつぎのように行われていた。

【0006】すなわち、

1) 原地盤の測量を行う。

【0007】2) そして測量結果を記した杭と板を、原地盤に設置する。これは帳張りと呼ばれる。

【0008】3) そして油圧ショベルのオペレータは、その板に記された角度と同様の角度の法面となるようにその板より一定距離下方まで（たとえば1メートル下まで）掘削する。つまり作業機用操作レバーを操作して油圧ショベルの作業機を作動させる。

【0009】しかし上記帳張りを構築するためには、目標地形に沿って多数点の精密な測量が必要である。このため測量作業に多大な時間を要する。さらには、その帳張りに従って油圧ショベルを操作するオペレータにも極めて高度な操作技量が要求される。

【0010】しかも法面は傾斜地や山間地に形成されることが多く、その形状が単純な平面となることは稀である。構造物（道路など）の形状や地山の形状に合わせた複雑な3次元曲面となることが多い。このためたとえ上記帳張りに従って正確に作業がなされたとしても目標とする地形に、完全には一致しないという問題点があった。

【0011】3次元の目標地形にする土工作业を行う際

にこの土工作业を補助するガイダンス装置に関する発明が従来より特許出願等され公知になっている。

【0012】たとえば特開平2-252825号公報（従来技術A）には、現場全体を複数のブロックに区切り、各ブロック毎に現在の地形と目標の地形との偏差を求め、この偏差に応じた盛土量をそのブロックまで建設機械に運搬させるという発明が記載されている。

【0013】また特開平7-180107号公報（従来技術B）には、道路工事の計画線データを記憶させ、ブルドーザ、アスファルトフィニッシャー等のブレードの現在の高さが上記工事計画線に沿った高さとなるようにブレード高さを制御して道路に舗装材を敷設するという発明が記載されている。

【0014】さらに特開平6-73755号公報（従来技術C）には、バックホウのバケットの現在位置と、予め決められた切土計画線とをディスプレイ上に表示するという発明が記載されている。

【0015】また特開平10-103925号公報（従来技術D）には、油圧ショベルの車体に対するバケットの相対的な位置を計測し、バケットの位置を表示画面上に表示するという発明が記載されている。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】本発明が対象としている作業は、道路などの構造物の法面を掘削する作業である。この構造物の法面の形状は、場所に応じて変化する。つまり油圧ショベルの移動位置、上部旋回体によりバケットを回転させたときのバケット位置が異なれば、それに伴って掘削により得られるべき目標3次元地形は異なる。

【0017】これに対して上記従来技術Aには、油圧ショベルで掘削作業を行う場合の適応例については記載されていない。

【0018】また従来技術Bは、ブルドーザ、アスファルトフィニッシャー等により、すでに掘削作業の終了した道路上に舗装材を敷設する敷設作業を対象としている。しかもブレードの位置を計測しブレードの高さを計測位置に合わせるならぬ制御であり、油圧ショベルには適用することができない。よって現在の地形から目標地形になるように地山を下方に掘削する掘削作業を対象とする本発明とは本質的に異なる。

【0019】また従来技術Cは、バックホウのバケットの現在位置と、予め決められた切土計画線とをディスプレイ上に表示するものであり、表示内容から掘削作業をガイダンスすることができる。しかし従来技術Cは固定的な切土計画線に沿って掘削することを前提としている。本発明のように油圧ショベルが移動するに応じて、バケットを回転により移動させるに応じて、目標とする法面の形状が変化する複雑な地形を掘削することを前提とするものはない。目標とする法面の形状が逐次変化する複雑な地形を掘削させようとするには、油圧ショベル

が移動する毎に、バケットを旋回により移動させるに応じて、法面の形状を入力し直す複雑な作業を要する。このため従来技術Cは、場所に応じて法面の形状が変化する複雑な3次元地形の掘削に対しては、実用的ではないという問題がある。

【0020】また従来技術Dは車体との関係でバケットの位置を表示するものであり、表示内容から掘削作業をガイダンスすることができる。しかし従来技術Dは目標とする地形との関係でバケットを表示するものではない。よって単純な形状の法面の掘削作業に対しては有用ではあるが、場所によって形状が異なる複雑な形状の法面の掘削に対しては有用ではない。

【0021】本発明はこうした実状に鑑みてなされたものであり、建設機械が移動するに応じてまたバケット等の掘削用作業機が移動するに応じて、その掘削すべき地形の形状が変化する複雑な3次元地形であっても、目標とする地形に精度よく掘削することができるようにすることを課題とするものである。

【0022】

【課題を解決するための手段および作用効果】上記解決課題を達成するため、第1発明は、掘削用の作業機を作動させて3次元の地形を3次元の目標地形にする掘削作業を行う建設機械に適用され、当該掘削作業をガイダンスする建設機械の掘削作業ガイダンス装置において、前記掘削用作業機の3次元位置を計測する位置計測手段と、前記位置計測手段により計測した掘削用作業機の位置を通過する平面を演算する平面演算手段と、前記平面演算手段によって演算された平面を示すデータと、前記3次元目標地形を示すデータとに基づいて、前記平面と前記3次元目標地形との交線を演算する交線演算手段と、前記交線演算手段によって演算された前記3次元目標地形を示す交線の位置と前記掘削用作業機の位置との相対位置関係を提示する提示手段とを具備したことを特徴とする。

【0023】また第2発明は、作業機の先端部にバケットが設けられ、当該作業機を作動させて3次元の地形を3次元の目標地形にする掘削作業を行う建設機械に適用され、当該掘削作業をガイダンスする建設機械の掘削作業ガイダンス装置において、前記バケットの3次元位置を計測する位置計測手段と、前記位置計測手段により計測したバケット位置を通過する平面を演算する平面演算手段と、前記平面演算手段によって演算された平面を示すデータと、前記3次元目標地形を示すデータとに基づいて、前記平面と前記3次元目標地形との交線を演算する交線演算手段と、前記交線演算手段によって演算された前記3次元目標地形を示す交線の位置と前記バケットの位置とを同一画面上に表示する表示手段とを具備したことを特徴とする。

【0024】第1発明、第2発明によれば、図6(a)に示すように現在のバケット44の3次元位置を通過す

る平面57と、3次元目標地形51との交線58が演算され、図6(b)に示すように、3次元目標地形51を示す交線58の位置とバケット44の位置とが同一画面24a上に表示される。

【0025】第1発明、第2発明によれば建設機械が移動するに応じてまたバケット44等の掘削用作業機が移動するに応じて、掘削すべき地形の形状が変化する複雑な3次元地形であっても、現在のバケット44の位置に対応する目標地形51を示す交線58の位置を、バケット44の位置との関係で表示することができる。複雑な形状の3次元地形をバケット44との位置関係でオペレータに分かりやすく表示することができる。よって本発明によれば、場所によって掘削すべき地形の形状が異なる複雑な3次元地形を、精度よく掘削することができる。

【0026】なお第1発明の「掘削用作業機」はバケット以外のあらゆる掘削用作業機を含む概念である。また第1発明の「提示手段」は表示手段以外のあらゆる情報提示手段を含む概念である。たとえばグラフィック表示に限ることなく、交線58とバケット44との相対的な位置関係を、数値でオペレータに提示してもよい。また交線58とバケット44との相対的な位置関係を音声によってオペレータに提示してもよい。

【0027】第3発明は、第2発明において、前記位置計測手段は、前記バケットの先端の3次元位置を計測するものであり、前記平面演算手段は、前記バケットの先端位置を通過する平面を演算するものであることを特徴とする。

【0028】第3発明によれば、図6(a)に示すように、バケット44の先端44aの3次元位置が計測され、このバケット先端44aを通過する平面57が演算される。

【0029】第4発明は、第1発明または第2発明において、前記掘削用作業機または前記バケットはアクチュエータが駆動されることにより作動するものであり、前記平面演算手段は、前記アクチュエータが駆動されたときに前記掘削用作業機または前記バケットが作動する面を含む平面を演算するものであることを特徴とする。

【0030】第4発明によれば、図4(a)に示すように掘削用作業機またはバケット44はアクチュエータ（油圧シリンダ）が駆動されることにより作動する。そして図4(b)に示すようにアクチュエータが駆動されたときに掘削用作業機またはバケット44が作動する面を含む平面57'が演算される。

【0031】このように建設機械40の車体41が地面に対して傾斜している場合、バケット44はオフセットされている場合であったとしても、アクチュエータが駆動されたときのバケット44の移動軌跡に含む平面57'が確実に求められる。そしてこの平面57'と3次元目標地形51との交線58'が求められ、表示画面2

4 a 上に表示される。このためアクチュエータを駆動させてバケット 4 4 を交線 5 8' に沿って移動させれば、傾斜、オフセット等のバケット位置の変化、ずれがあったとしても、目標地形 5 1 を常に精度よく掘削することができる。

【0032】第 5 発明は、第 1 発明または第 2 発明において、現在の 3 次元地形データと、目標構造物の縁部の 3 次元形状を示すデータと、法面の形状データとに基づいて、前記目標構造物の縁部を法尻とする 3 次元目標地形のデータを作成する 3 次元目標地形データ作成手段をさらに具えたことを特徴とする。

【0033】第 5 発明によれば、図 5 に示すように、現在の 3 次元地形 5 0 のデータと、目標構造物 5 2 の縁部 5 3 の形状を示すデータと、法面 5 4 の形状を示すデータとに基づいて、目標構造物 5 2 の縁部 5 3 を法尻とする 3 次元目標地形 5 1 のデータが作成される。簡単なデータを入力するだけで複雑な 3 次元目標地形 5 1 を自動的に作成することができる。

【0034】第 6 発明は、掘削用の作業機を作動させて 3 次元の地形を 3 次元の目標地形にする掘削作業を行う建設機械に適用され、前記掘削用作業機を制御する建設機械の掘削制御装置において、前記掘削用作業機の 3 次元位置を計測する位置計測手段と、前記位置計測手段により計測した掘削用作業機の位置を通過する平面を演算する平面演算手段と、前記平面演算手段によって演算された平面を示すデータと、前記 3 次元目標地形を示すデータとに基づいて、前記平面と前記 3 次元目標地形との交線を演算する交線演算手段と、前記交線演算手段によって演算された前記 3 次元目標地形を示す交線を、目標移動経路とし、当該目標移動経路に沿って前記掘削用作業機が移動するように当該掘削用作業機を制御する制御手段とを具えたことを特徴とする。

【0035】第 6 発明によれば、図 6 (a) に示すように現在のバケット 4 4 の 3 次元位置を通過する平面 5 7 と、3 次元目標地形 5 1 との交線 5 8 が演算される。

【0036】そして図 10 に示すように、3 次元目標地形 5 1 を示す交線 5 8 が目標移動経路 Tc とされ、この目標移動経路 Tc に沿ってバケット 4 4 が移動するようにバケット 4 4 が制御される。

【0037】よって本発明によれば、場所によって掘削すべき地形の形状が異なる複雑な 3 次元地形を、精度よく掘削することができる。この場合オペレータがバケット 4 4 を操作せずとも自動的に掘削作業がなされる。よって第 1 発明、第 2 発明の効果に加えて、オペレータの労力が軽減されるという効果が得られる。

【0038】第 7 発明は、掘削用の作業機を作動させて 3 次元の地形を 3 次元の目標地形にする掘削作業を行う建設機械に適用され、掘削用操作手段の操作に応じて前記掘削用作業機を制御する作業機コントローラを備えた建設機械の掘削制御装置において、前記建設機械に外部

より装着自在であって、前記 3 次元目標地形のデータを、前記作業機コントローラに出力する外部コントローラと、前記掘削用操作手段の操作に応じて前記掘削用作業機を制御する第 1 の制御モードと、前記 3 次元目標地形データに基づき当該 3 次元目標地形上の目標移動経路に沿って前記掘削用作業機が移動するように当該掘削用作業機を制御する第 2 の制御モードのいずれかの制御モードを選択する制御モード選択手段と、前記外部コントローラが前記建設機械に装着されているか否かを判断する判断手段と、前記判断手段によって前記外部コントローラが前記建設機械に装着されていると判断された場合には、前記制御モード選択手段の選択結果に応じた制御モードを前記作業機コントローラで実行させ、前記判断手段によって前記外部コントローラが前記建設機械に装着されていないと判断された場合には、前記制御モード選択手段の選択いかんにかかわらず前記第 1 の制御モードを前記作業機コントローラで実行させることを特徴とする。

【0039】第 7 発明によれば、図 1 に示すように、外部コントローラ 2 5 が建設機械に装着されていると判断された場合には、制御モード選択手段 1 3 の選択結果に応じた制御モードが作業機コントローラ 2 1 で実行される。すなわち第 1 の制御モードが選択されると、掘削用操作手段 1 1 の操作に応じて掘削用作業機が制御される。また第 2 の制御モードが選択されると外部コントローラ 2 5 から出力される 3 次元目標地形データに基づき当該 3 次元目標地形上の目標移動経路に沿って掘削用作業機が移動するように当該掘削用作業機が制御される。

【0040】しかし外部コントローラ 2 5 が建設機械に装着されていないと判断された場合には、外部コントローラ 2 5 からは 3 次元目標地形データが作業機コントローラ 2 1 に出力されていない状態である。このため制御モード選択手段 1 3 の選択いかんにかかわらず第 1 の制御モードが作業機コントローラ 2 1 で実行される。すなわち掘削用操作手段 1 1 の操作に応じて掘削用作業機が制御される。

【0041】第 7 発明によれば、外部コントローラ 2 5 が装着されているときのみ、制御モードの切り替え選択が有効であると判定し外部コントローラ 2 5 が未装着な場合には操作手段 1 1 に応じた制御のみを実行させるようになっているので、外部コントローラ 2 5 が未装着の場合の誤動作を防止することができる。

【0042】

【発明の実施の形態】以下図面を参照して、本発明に係る掘削作業ガイダンス装置および掘削制御装置の実施の形態について説明する。

【0043】図 3 は、実施形態の建設機械の幾何的關係を示す図である。建設機械としては油圧ショベル 4 0 を想定している。図 3 (a) は油圧ショベル 4 0 の側面図であり、図 3 (b) は油圧ショベル 4 0 の後面図であ

る。

【0044】同図3に示すように油圧ショベル40の車体41の下部には履帯49が設けられている。履帯49が回転することにより油圧ショベル40は走行する。車体41の前方には、ブーム42、アーム43、バケット44からなる作業機47が設けられている。ブーム42、アーム43、バケット44の長さはそれぞれ、 L_1 、 L_2 、 L_3 である。作業機47は、車体41に対してブーム42、アーム43、バケット44が順次連結されるように構成されている。ブーム42の根元42dは車体41の前方所定箇所に連結されている。作業機47の先端部には、土砂を掘削する掘削用作業機としてのバケット44が設けられている。バケット44の先端は44aで示される。車体41（上部旋回体）は履帯49（下部旋回体）に対して相対的に旋回移動される。したがって旋回に伴い作業機47の位置、バケット44の位置が変化する。

【0045】ブーム42、アーム43、バケット44には、それぞれ傾斜角センサ27、28、29が設けられている。傾斜角センサ27、28、29ではそれぞれ、ブーム42の重力方向（鉛直下方）に対する傾斜角 θ_1 、アーム43の重力方向に対する傾斜角 θ_2 、バケット44の重力方向に対する傾斜角 θ_3 が検出される。

【0046】車体41には、2つのRTK-GPS (Real Time Kinematic-Global Positioning System) 用アンテナ45、46が車体座標系X1-Y1-Z1のY1軸（水平軸）に沿って一定距離だけ離間して設けられている。GPSアンテナ45、46で受信されたGPS電波に応じた信号は3次元位置センサ30（GPS位置センサ）に入力される。3次元位置センサ30では、GPSアンテナ45、46の設置位置P1、P2の位置が検出される。なお図3（b）は車体41が重力方向（鉛直線）に対して θ_0 だけ傾斜した状態を示している。

【0047】図4はオフセットブームを備えた油圧ショベル40を示している。図4（a）は側面図であり、図4（b）は図4（a）の矢視A図である。この作業機は、車体41に対して第1ブーム42a、第2ブーム42b、オフセットブーム42c、アーム43、バケット44が順次連結されるように構成されている。

【0048】図4（b）に示すようにオフセットブーム42cは車体41に対して左右に回動（オフセット動作）自在となっている。オフセットブーム42cが第1ブーム42aに対してオフセット角 θ_4 だけ左右に傾斜されると、このオフセット角 θ_4 に応じたオフセット分だけバケットは44から44'へと左右にオフセットされる。オフセット動作前のバケット44が移動する移動経路を含む平面を57とすると、オフセット動作後のバケット44'が移動する移動経路を含む平面は57'となる。平面57と平面57'とはオフセット分だけずれている。

【0049】図1、図2は油圧ショベル40に搭載される制御装置の構成を示すブロック図である。図1は角度センサ27、28、29が油圧ショベル40に標準で装着されていない場合に後からこれら角度センサを装着したときの構成を示すブロック図である。一方図2は角度センサ27、28、29が油圧ショベル40に標準で装着されている場合の構成を示すブロック図である。

【0050】本実施形態では、掘削用操作レバー11の操作に応じて作業機47を制御する第1の制御モードと、後述するように目標移動経路に沿ってバケット先端44aが移動するように作業機47を制御する第2の制御モードのいずれかが実行される。第1の制御モードおよび第2の制御モードは作業機制御コントローラ21で実行される。目標移動経路を演算するために必要な3次元目標地形データは外部コントローラ25から出力される。

【0051】油圧ショベル40は汎用機械であり、常時目標移動経路に沿ってバケット44を自動的に移動させるという第2の制御モードを必要とするわけではない。すなわち特に精度を要求されない掘削作業や、3次元CADデータなしで行う掘削作業も同じ油圧ショベルで行わせる必要がある。そこで本実施形態では、通常の油圧ショベル40に対して、第2の制御モードの機能を後付けで装着できるように構成されている。

【0052】第2の制御モードを作業機制御コントローラ21で実行させるのに必要な機能は、外部コントローラ25に分担させている。この外部コントローラ25は油圧ショベル40の外部より装着自在となっている。

【0053】図1に示すように、油圧ショベル40の作業機47は油圧シリンダ23が駆動されることにより作動される。すなわちブーム42、アーム43、バケット44毎に油圧シリンダが設けられている。作業機47は作業機用操作レバー11が操作されることに応じて作動される。ブーム42、アーム43、バケット44毎に操作レバーが設けられている。操作レバー12は後述するように移動経路をオフセットさせるために用いられるレバーである。操作切換スイッチ13は第1の制御モードと第2の制御モードのいずれかの制御モードを選択して切り換えるスイッチである。操作レバー11、12、操作切換スイッチ13によって入力装置10が構成されている。

【0054】外部コントローラ25には後述するように3次元目標地形を示すデータが所定のメモリに記憶されている。外部コントローラ25にはグラフィックインターフェース（GUI）24とセンサ群26が接続されている。センサ群26は角度センサ27～29と3次元位置センサ30とからなる。外部コントローラ25では、3次元位置センサ30の検出結果と角度センサ27～29の検出結果とに基づきバケット先端44aの位置Pgtが演算される。そしてこのバケット先端44aの位置P

gtと上記メモリに記憶された3次元目標地形51のデータとに基づいてバケット先端44aが移動すべき3次元目標地形51上の交線58が演算される。そしてこれらバケット44（バケット先端44a）と交線58との相対位置関係が、グラフィックインターフェース24上に設けられた表示画面24aに表示される（図6参照）。またグラフィックインターフェース24上には、自動掘削開始ボタン24bが設けられている。この自動掘削開始ボタン24bがオンされている間、移動指令が外部コントローラ25に入力される。グラフィックインターフェース24上には、目標移動経路Tc上の移動方法、移動速度を指定するスイッチが設けられている。

【0055】外部コントローラ25から作業機制御コントローラ21に対して、3次元目標地形51のデータ、3次元位置センサ30で検出される車体41上の位置データP1、P2、目標移動経路Tc上の移動方法および移動速度を指示する移動方法/移動速度指令データ、自動掘削開始ボタン24bの操作に応じた移動指令データ、角度センサ27～29で検出されたブーム42等の現在角度データがそれぞれ出力される。

【0056】作業機制御コントローラ21では、入力装置10から入力された操作指示信号、外部コントローラ25から入力されたデータに基づき、作業機47を作動させるための制御信号が生成され、比例制御弁22に出力される。

【0057】すなわち操作切換スイッチ13により第1の制御モードが選択操作されている場合には、操作レバー11の操作に応じて作業機47を作動させるための制御信号が生成、出力される。また操作切換スイッチ13により第2の制御モードが選択操作されている場合には、外部コントローラ25から入力された3次元目標地形データ等に基づいて目標移動経路Tcが作成され、目標移動経路Tcに沿ってバケット先端44aを自動的に移動させるための制御指令が生成、出力される。ただし自動掘削開始ボタン24bがオンされ移動指令が入力されている間だけバケット先端44aが目標移動経路Tcに沿って自動的に移動される（図10参照）。つまり上記交線58を目標移動経路Tcとして掘削作業が自動的に行われる。自動掘削開始ボタン24bがオペレータの手が離れ移動指令が入力されなくなると、かかる自動的な掘削作業は行われない。

【0058】作業機制御コントローラ21から出力された制御指令は、比例制御弁22に加えられる。比例制御弁22からは加えられた制御指令に応じた流量の圧油が流出され、油圧シリンダ23に供給される。油圧シリンダ23は、比例制御弁22から供給された圧油に応じて駆動される。油圧シリンダ23が駆動されるに応じて作業機47が作動される。

【0059】なお外部コントローラ25で目標移動経路Tcを作成して、この目標移動経路Tcを示すデータを作

業機制御コントローラ21に出力してもよい。

【0060】ただし図2に示すように、角度センサ27～29が作業機制御コントローラ21に接続されている場合には、作業機制御コントローラ21から外部コントローラ25に対してブーム42等の現在角度を示すデータが出力される。これにより外部コントローラ25においてバケット先端位置Pgtを求め交線58を演算することが可能となる。

【0061】なお外部コントローラ25としては、上述したように3次元データを記憶する高度なものだけではなく、スキャン式レーザなどを用いて2次元データを記憶する単純なものでもよい。

【0062】外部コントローラ25が車体41に装着されているか否かは、外部コントローラ25のコネクタに接続されているか否かにより車体41に設けた他のコントローラにより判断される。車体41内の複数のコントローラは信号線によってシリアルに接続されており、信号線をフレーム信号が伝送されることにより、コントローラ間でデータが授受される。そしてフレーム信号が信号線を伝送することにより、各コントローラに接続されたセンサ、アクチュエータのエラー等の異常判定が行われる。したがって外部コントローラ25が装着されているときには、この外部コントローラ25に接続された角度センサ27～29および3次元位置センサ30などの異常判定が行われる。

【0063】異常があった場合にはその旨がたとえば表示画面24bに表示される。そしてたとえオペレータが第2の制御モードを選択操作した場合でも、第2の制御モードを実行しないように作業機制御コントローラ21に対して指示される。角度センサ27～29および3次元位置センサ30に異常があると第2の制御モードが異常になるからである。ただし角度センサ27～29および3次元位置センサ30に異常があったとしても操作レバー11の操作に基づく第1の制御モードが可能である。よって操作切換スイッチ13の選択如何にかかわらず、第1の制御モードを実行するように作業機制御コントローラ21に対して指示が出される。また外部コントローラ25が装着されていないと判断された場合には、外部コントローラ25に関する異常判定はなされない。

【0064】外部コントローラ25が装着されていると判断された場合には、操作切換スイッチ13の選択結果に応じた制御モードが作業機制御コントローラ21で実行される。すなわち操作切換スイッチ13で第1の制御モードが操作選択されている場合には、操作レバー11の操作に応じて作業機47が制御される。また操作切換スイッチ13によって第2の制御モードが操作選択されている場合には、目標移動経路Tcに沿ってバケット先端44aが移動するように作業機47が制御される。

【0065】しかし外部コントローラ25が装着されていないと判断された場合には、外部コントローラ25か

らは3次元目標地形データが作業機制御コントローラ21に出力されていない状態である。このため操作切換スイッチ13の選択いかんにかかわらず第1の制御モードが作業機制御コントローラ21で実行される。すなわち操作レバー11の操作に応じて作業機47が制御される。

【0066】このように外部コントローラ25が装着されているときのみ、制御モードの切り替え選択が有効であると判定し外部コントローラ25が未装着な場合には操作レバー11に応じた制御のみを実行させるようしている。このため外部コントローラ25が未装着な場合の誤動作を防止することができる。

【0067】以下外部コントローラ25、作業機制御コントローラ21で実行される演算内容について説明する。

【0068】・3次元目標地形データの作成
道路という構造物52を例にとり3次元目標地形データの作成方法について説明する。

【0069】図5(a)に示すように現在地形50から3次元目標地形51を得るためには、3次元の現在地形50のデータが必要である。たとえばGPSやトータルステーションなどの一般的な測量装置を用いて地表の複数の点の3次元座標位置データが計測される。そして各点の3次元座標位置データが関連づけられ3次元現在地形データとされる。なお本実施の形態では、近傍の3点を選択し3角形ポリゴンとなしこの3角形ポリゴンの集合が3次元現在地形データとされる。

【0070】図11は現在地形データから道路という構造物52を生成するまでの手順を概念的に示している。

【0071】図11(a)に示すように、まず3次元現在地形データが入力され、上方より見た地形図が生成される。そして上方より見た地形図の上でIP点と呼ばれる中間点70が定められる。そしてこの中間点70を結ぶ直線がクロソイド、単曲線、ヘアピンなどの適当な曲線で接続され、上方より見た道路の中心線(平面線形)71が定められる。

【0072】さらに図11(b)に示すように3次元現在地形データに基づき、平面線形71に沿った高さ方向Zの地形データ72が求められる。これは縦断面と呼ばれる。そしてこの縦断面72上でIP点70が定められ、曲線で補完することによって縦断面で見た道路の中心線(縦断線形)71'が定められる。こうして道路の中心線71'の3次元位置が最終的に決定される。

【0073】つぎに図11(c)に示すように道路中心線71'に対して、道路の道幅、歩道の有無などを定めることによって、構造物52の3次元形状が求められる。そして構造物52の縁部53の3次元形状が決定される。縁部53の3次元形状は曲線を含む複雑な形状となる。

【0074】図5(a)は現在地形50を示すデータ

と、構造物52の形状を示すデータと、法面54の角度等の形状を示すデータと、縁53の形状を示すデータとに基づき法面54の3次元目標地形51を示すデータを作成する様子を概念的に示している。

【0075】まず最初に法面54の角度、法面54、54間の小段55を設ける間隔を示すデータが入力される。そして現在の3次元地形50のデータと、構造物52の縁部53の形状を示すデータと、法面54の角度データとに基づいて、構造物52の縁部53を法尻とする3次元目標地形51のデータつまり法面54の形状データが作成される。法面54の形状データを図5(b)に示す。このように簡単なデータを入力するだけで複雑な3次元目標地形51を自動的に作成することが法面54の形状データは図5(c)に示すように3角形ポリゴン56の集合として表される。3角形ポリゴン56の集合が3次元目標地形データとして外部コントローラ25のメモリに記憶される。

【0076】・バケットの現在位置の演算

図3を参照して3次元位置センサ30、傾斜角度センサ27~29の検出結果に基づきバケット先端44aの現在位置を演算する処理の内容を説明する。

【0077】まずブーム42の根元42dの座標位置を求めるために、車体座標系{X1, Y1, Z1}を求める。

【0078】3次元位置センサ30では座標位置P1、P2が検出される。すると、

$$Y1 = (P1 - P2) \cdot |P1 - P2|$$

となる。

【0079】そして傾斜角度センサ27~29では、Y1を水平軸として重力方向に対する傾き θ_1 、 θ_2 、 θ_3 が検出される。

【0080】Y1とZの2つのベクトルで表される平面を通り、Y1と垂直なベクトルZ'を導入すると、

$$(Z', Y1) = 0 \quad \dots (2.1)$$

$$Z' = (1-a)Z + aY1 \quad \dots (2.2)$$

という関係が成り立つ。

【0081】(2.1)式および(2.2)式より、

$$Z' = Z + \{ (Z, Y1) / ((Z, Y1) - 1) \} (Y1 - Z)$$

となり、さらに、Y1およびZ'と垂直なベクトルをX'とすると、

$$X' = Y1 \perp Z'$$

となる。

【0082】車体座標系は、これをY1軸周りに θ_0 だけ回転させたものであるから、

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_0 & 0 & -\sin \theta_0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_0 & 0 & \cos \theta_0 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

となる。

【0083】この車体座標系内でのバケット先端44aの位置座標(x_{Lt} , y_{Lt} , z_{Lt})は、傾斜角度センサ27~29の検出角度 $\theta 1$ 、 $\theta 2$ 、 $\theta 3$ およびブーム4

$$x_{Lt}=0 \quad \dots (2.4)$$

$$z_{Lt}=-Lb2+L1\cos\theta 1-L2\cos\theta 2-L3\cos\theta 3$$

$$\dots (2.5)$$

$$y_{Lt}=Lb1+L1\sin\theta 1+L2\sin\theta 2+L3\sin\theta 3$$

$$\dots (2.6)$$

と演算することができる。よってグローバル座標系でのバケット先端44aの位置座標Pgtは、

$$Pgt=x_{Lt}\cdot X1+y_{Lt}\cdot Y1+z_{Lt}\cdot Z1+P1\dots$$

$$(2.7)$$

となる。

【0084】なお本実施の形態では、2つのGPSアンテナ45、46を車体41に取り付けた場合を示している。この場合車体41の旋回等に伴うGPSアンテナの経路を計測して油圧ショベル40の傾きおよび傾斜方向を計測してもよい。また3つ以上のGPSアンテナを用いて車体41の位置を計測することもできる。さらにGPSアンテナを、アーム43やブーム42に取り付けてもよい。またGPSの代わりにロボティックトータルステーションなど他の3次元位置計測装置を用いてもよい。

【0085】また角度センサ27~29としては、ブーム42、アーム43、バケット44の重力方向に対する傾きを検出する検出器に限ることなく、ポテンショメータなどの任意の角度センサを用いることができる。またレーザ距離計測装置を用いて角度を検出してもよい。

【0086】平面と3次元目標地形との交線の演算オペレータが操作レバー11を操作したとき油圧シリンダ23が駆動されバケット44の先端44aは、Y1-Z1平面内を移動することによって、掘削作業がなされる。すなわちバケット先端44aは上記演算された現在の先端位置Pgtを通るY1-Z1平面内を移動することによって掘削作業が行われる。

【0087】そこで図6(a)に示すように現在のバケット先端44aの位置Pgtを通過する平面57が演算される。

【0088】つぎにメモリに記憶された3次元目標地形51のデータが読み出され、平面57と目標地形51との交線58が演算される。この交線58が、バケット先端44aが移動すべき目標移動経路Tcとなる。この交線58に沿ってバケット先端44aを移動させることによって、現在のバケット下方における現在地形50を3次元目標地形51に掘削することができる。3次元目標地形データは、三角形ポリゴン56の集合として表現されるので、交線58は各三角形ポリゴン56上の線分で表現されることになる。

【0089】そして図6(b)に示すように、3次元目標地形51を示す交線58の位置とバケット44の位置

2、アーム43、バケット44の長さL1、L2、L3を用いて、

とが同一の表示画面24a上に表示される。

【0090】油圧ショベル40の走行に伴う移動や車体41の旋回によってバケット44の現在位置が変化したとしても、表示画面24a上には、現在のバケット44の位置と現在のバケット44の下方における3次元目標地形51を示す交線58が表示されることになる。よってオペレータは、この表示画面24aを見ることによって、掘削すべき交線58の位置を、バケット44の位置との関係で正確に把握することができる。そしてこの表示画面24aを見ながら操作レバー11を操作すれば現在地形50を目標地形51に精度よく掘削することができる。なおこのとき操作切換スイッチ13は第1の制御モードに選択されている。

【0091】このように本実施形態によれば油圧ショベル40が移動するに応じてまたバケット44が移動するに応じて、そのバケット44の下方の掘削すべき地形の形状が変化する複雑な3次元地形であっても、現在のバケット44の位置に対応する目標地形51を示す交線58の位置を、バケット44の位置との関係で表示することができる。つまり複雑な形状の3次元地形をバケット44との位置関係でオペレータに分かりやすく表示することができる。よって本実施形態によれば、場所によって掘削すべき地形の形状が異なる複雑な3次元地形であっても、精度よく掘削することができる。

【0092】なおバケット44と交線58の表示の仕方は図4(b)に示す表示の仕方に限定されるものではない。図6(a)に示すようにバケット44と交線58との位置関係を3次元的に表示してもよい。この場合図7に示すように、バケット44の幅Wを考慮して、バケット44の幅W分の交線58'を表示してもよい。バケット44の幅W分の交線58'が掘削すべき部分(これを斜線にて示す)となる。

【0093】またバケット44のみを表示するのではなくバケット44を含む作業機47全体を表示してもよい。さらには図8に示すように表示画面24a上に油圧ショベル40全体を表示して、車体41に対する作業機47の現在姿勢を画面24aから認識できるようにしてもよい。

【0094】さらには図9(a)に示すようにバケット先端44aの動作範囲を表示してもよい。この場合ブーム42、アーム43、バケット44を動作させたときの動作範囲59を表示することができる。また特定の作業

機たとえばアーム43、バケット44を動作させたときの動作範囲60を表示することができる。さらには図9(b)に示すようにバケット44の姿勢を一定にしたときの動作範囲61を表示してもよい。

【0095】動作範囲59、60、61を表示することで、交線58との関係で油圧ショベル40が掘削作業に適した位置にいるか否かを判断することができる。

【0096】なお目標地形51を示す交線58だけではなく、現在地形50を示す交線、現在地形50の下の土や岩などの状態を併せて表示してもよい。

【0097】なお本実施形態では、バケット44と交線58を表示画面24上にグラフィック表示している。しかし本発明としては逐次変化する現在のバケット44と現在の交線58との相対位置関係をオペレータに提示して掘削作業をガイダンスすることができればよい。たとえば交線58とバケット44との相対的な位置関係を、数値(たとえばバケット先端44aから交線58までの距離)でオペレータに提示してもよい。また交線58とバケット44との相対的な位置関係を音声(たとえば「バケット先端下方Xmに交線あり」)によってオペレータに提示してもよい。

【0098】・掘削制御

上記表示画面24aに表示される交線58は、操作切換スイッチ13で第2の制御モードが選択されて自動掘削を行うときの目標移動経路Tcとなる。自動掘削開始ボタン24bがオンされている間、作業機制御コントローラ21では自動掘削の制御が実行される。また自動掘削開始ボタン24bがオフされると、自動掘削制御が中止される。

【0099】目標移動経路Tcは車体座標系の2次元平面Z1-Y1上の点列{Pt1, Pt2, ..., Ptm}で表現される。

【0100】バケット44の取り付け方法によって掘削方向が定まる。たとえばバックハウの場合には車体41に対して遠方から手前に掘削される。このため車体座標系で原点から遠い点から掘削が開始される。こうして掘削の方向が求められる。

【0101】つぎに目標移動経路Tc上の開始点と終了点が求められる。オペレータはグラフィックインターフェース24で水平掘削を行うか法面掘削を行うかを移動方法を指示している。

【0102】法面掘削の場合には、図10に示すようにバケット44の現在高さと同じ高さから掘削が開始される。目標移動経路Tc中でバケット44の現在のZ1軸上の座標値と同じ座標値になる点が求められ、これが掘削開始点Pto1とされる。なお目標移動経路Tcがバケット44の現在高さよりも低い場合には、目標移動経路Tc中で車体41から最も遠い点が掘削開始点Pto1とされる。この掘削開始点が油圧ショベル40の動作範囲内に入らない場合には、動作範囲内で車体41に最も遠い点

が掘削開始点Pto1とされる。

【0103】これに対して水平掘削の場合には、バケット44の現在のY1軸上の座標値と同じ座標値になる点が求められ、これを掘削開始点Pto1とされる。なお目標移動経路Tc中に現在のY1軸上の座標値と同じ座標値になる点が存在しない場合には、法面掘削の場合と同様に車体41から最も遠い点が掘削開始点Pto1とされる。この掘削開始点が油圧ショベル40の動作範囲内に入らない場合には、動作範囲内で車体41に最も遠い点が掘削開始点Pto1とされる。

【0104】次に終了点が求められる。法面掘削の場合には図10に示すように油圧ショベル40の履帯49が接している地面の高さにて掘削が終了される。目標移動経路Tc中で油圧ショベル40の地面の現在のZ1軸上の座標値と同じ座標値となる点が求められ、これが掘削終了点Ptmとされる。なお目標移動経路Tc中に地面の現在のZ1軸上の座標値と同じ座標値となる点が存在しない場合には、車体41に最も近い点が掘削終了点Ptmとされる。この掘削終了点が油圧ショベル40の動作範囲内に入らない場合には、動作範囲内で車体41に最も近い点が掘削終了点Ptmとされる。

【0105】これに対して水平掘削の場合には、油圧ショベル40の履帯49の縁部の現在のY1軸上の座標値と同じ座標値になる点が求められ、これを掘削終了点Ptmとされる。なお目標移動経路Tc中に現在の履帯縁部のY1軸上の座標値と同じ座標値になる点が存在しない場合には、法面掘削の場合と同様に車体41に最も近い点が掘削終了点Ptmとされる。この掘削終了点が油圧ショベル40の動作範囲内に入らない場合には、動作範囲内で車体41に最も近い点が掘削終了点Ptmとされる。

【0106】このようにしてバケット先端44aが実際に移動可能な範囲で、移動開始点Pto1と移動終了点Ptmが求められ、点列{Pt1, Pt2, ..., Ptm}が点列Tc={Pto1, Pto2, ..., Ptm}に再構成される。

【0107】各目標点Pto1, Pto2, ..., Ptmにおけるバケット44の姿勢角度θ3はオペレータにより選択される。たとえば各目標点におけるバケット44の姿勢角度θ3を、現在位置における角度に維持してもよい。また初期の2つの目標点Pto1, Pto2で定まる直線の角度にバケット44の背面の角度が合うようにバケット姿勢角度θ3を定めて、この姿勢角度を維持したまま各目標点を移動させてもよい。なおバケット44の背面の角度に維持する方法は仕上げ作業に用いられる。

【0108】バケット先端44aの現在位置Pgtから目標移動経路Tcの最初の点Pto1までは、各軸制御によりブーム42、アーム43、バケット44の各軸(各油圧シリンダ23)が駆動制御される。すなわち2点Pgt、Pto1間における油圧シリンダのロッドの移動位置が演算され、

(油圧シリンダの位置変化量) / (油圧シリンダの最大移動速度)

が最も大きい軸が最大速度で移動される。その他の軸は、最大速度となる軸と同時に目標点 Pto1 に到達するように制御される。

【0109】このときバケット先端 44a の移動経路は非直線になる。2 点間の制御は比較的簡単であり移動速度は最大となる。油圧シリンダは 2 点間を等速度で移動させてもよい。ただし振動を防止するために適当な加減速パターンを設定して、2 点間をこの加減速パターンにしたがって移動させてもよい。

【0110】各軸制御で移動させる場合に、バケット 44 あるいはアーム 43 などが、目標移動経路 Tc あるいは現在地形 50 と干渉する場合には、干渉を避けるように補助点が自動的に作成され、この補助点を經由して目標点 Pto1 まで移動される。

【0111】バケット先端 44a が目標移動経路 Tc の移動開始点 Pto1 に到達されると、バケット 44 の姿勢角度 θ_3 が維持されたまま、バケット先端 44a が目標移動経路 Tc 上に保って移動される。具体的にはバケット先端 44a が、設定した目標移動速度で移動される。目標移動速度はグラフィックインターフェース 24 で設

$$\begin{aligned} y_{Lt-Lb1-L3} \sin \theta_{to} &= L1 \sin \theta_1 + L2 \sin \theta_2 \\ z_{Lt+Lb2+L3} \cos \theta_{to} &= L1 \cos \theta_1 - L2 \cos \theta_2 \end{aligned}$$

となる。

【0117】ここで、

$$\begin{aligned} y_{Lt-Lb1-L3} \sin \theta_{to} &= m \\ z_{Lt+Lb2+L3} \cos \theta_{to} &= n \end{aligned}$$

とおくと、

$$\begin{aligned} m &= L1 \sin \theta_1 + L2 \sin \theta_2 \\ n &= L1 \cos \theta_1 - L2 \cos \theta_2 \end{aligned}$$

となる。

【0118】両辺を 2 乗して加算すると、

$$m^2 + n^2 = L1^2 + L2^2 - 2L1 \cdot L2 \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

となる。なお \wedge^2 は 2 乗を意味するものとする。

【0119】したがって、

$$\theta_1 + \theta_2 = \cos^{-1} \{ (L1^2 + L2^2 - m^2 - n^2) / (2L1 \cdot L2) \}$$

が得られる。

【0120】(2.5) 式より

$$m = L1 \sin \theta_1 + L2 \sin \theta_2$$

が得られる。これより、

$$m = (L1 - L2 \cos(\theta_1 + \theta_2)) \sin \theta_1 + L2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \cos \theta_1$$

となる。ここで、

定される。

【0112】以下目標移動経路 Tc に沿ってバケット先端 44a の移動をサーボ制御する処理の内容について説明する。

【0113】すなわちバケット先端 44a の微小時間ごとの位置 (y_{to} , z_{to}) および角度 θ_{to} が、目標移動経路 Tc のデータから求められる。そしてこのバケット先端位置および角度に対応する各軸 (ブーム 42、アーム 43、バケット 44) の目標回転角度 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 が求められる。そしてこの目標回転角度になるようにブーム 42、アーム 43、バケット 44 の各油圧シリンダ 23 がサーボ制御される。

【0114】Y1-Z1 平面上におけるバケット先端 44a の目標位置、角度を $\{y_{to}, z_{to}, \theta_{to}\}$ とすると、各軸の回転角度 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 が以下に示すように一律に定まる。

$$\{\theta_1, \theta_2, \theta_3\} = f_r \{y_{to}, z_{to}, \theta_{to}\}$$

ただし f_r は所定の関数である。この関数 f_r の内容は以下のとおりである。

$$\text{【0116】 } \theta_3 = \theta_{to} \quad (4.1)$$

また、(2.5) 式および (2.6) 式より

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{(L_1 - L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2))}{m} \\ k_2 &= \frac{L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)}{m} \end{aligned}$$

とおくと、

$$1 = k_1 \sin \theta_1 + k_2 \cos \theta_1$$

となる。よって θ_1 は、

$$\theta_1 = \cos^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{k_1}{k_2} \right)$$

となる。 θ_2 も同様にして求められる。こうして目標回転角度 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 が演算される。

【0121】つぎに重力方向に対してなす角度 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 が、車体 41 に対してブーム 42 がなす相対的な角度 θ'_1 、ブーム 42 に対してアーム 43 がなす相対的な角度 θ'_2 、アーム 43 に対してバケット 44 がなす相対的な角度 θ'_3 に変換される。これら相対角度 θ'_1 、 θ'_2 、 θ'_3 は、重力方向に対してなす角度 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 の加減算によって容易に求められる。そして現在の相対角度 θ'_1 、 θ'_2 、 θ'_3 が目標とする相対角度 θ'_1 、 θ'_2 、 θ'_3 となるように、ブーム 42、アーム 43、バケット 44 の各油圧シリンダ 23 が

駆動制御される。こうしてバケット先端 44a は目標移動経路 Tc に沿って移動され、現在地形 50 が目標地形 51 に精度よく掘削される。

【0122】そして図 10 に示すように、3次元目標地形 51 を示す交線 58 が目標移動経路 Tc とされ、この目標移動経路 Tc に沿ってバケット 44 が移動するようにバケット 44 が制御される。

【0123】このように第 2 の制御モードで自動掘削を行った場合には、表示画面 24a を確認しながら手動で掘削作業を行う第 1 の制御モードの場合と同様に、現在のバケット位置下方の目標地形 51 に沿ってバケット先端 44a が自動的に移動するので、場所によって掘削すべき地形の形状が異なる複雑な 3次元地形であっても、精度よく掘削することができる。さらに第 2 の制御の場合にはオペレータがバケット 44 を操作せずとも自動的に掘削作業がなされる。このため第 1 の制御モードに比べてオペレータの労力が軽減されるという効果が得られる。

【0124】なお上述した実施の形態では、地面に対して垂直な Y1-Z1 平面内をバケット先端 44a が移動することを前提としている。しかし油圧ショベル 40 の車体 41 は図 3 (b) に示すように掘削作業の進行に伴い地面に対して角度 $\theta 0$ だけ傾斜することもある。この場合には作業機 47 の油圧シリンダ 23 が駆動されることによりバケット 44 は地面に対して角度 $\theta 0$ だけ傾斜した平面に沿って移動する。このため傾斜角度 $\theta 0$ に応じた平面 57 を新たに求め直して、交線 58 つまり目標移動経路 Tc を再度演算してもよい。

【0125】具体的には図 6 (a) に示すように地面に対して垂直な平面 57' に対して角度 $\theta 0$ だけ傾斜されバケット先端 44a の現在位置を通過する平面 57'' が新たに演算される。そしてこの平面 57'' と 3次元目標地形 51 との交線 58'' が求められ、表示画面 24a 上に表示される。また交線 58'' が目標移動経路 Tc とされこの目標移動経路 Tc に沿ってバケット先端 44a が移動されるように各油圧シリンダ 23 が自動制御される。

【0126】また作業機が車体 41 に対して左右に傾斜することができる作業機を備えた建設機械の場合には、作業機の傾斜に応じてバケット先端 44a が移動する平面が変化する。この場合にも同様にして油圧シリンダ 23 が駆動されたときにバケット先端 44a が移動する面を含む平面 57'' を求め、この平面 57'' に応じた交線 58'' を求めればよい。平面 57'' としては主に掘削力を負担する作業機（アームなど）の油圧シリンダの移動によって定まる平面を求めればよい。

【0127】また図 4 に示すようにオフセットブーム 42c を備えた油圧ショベル 40 の場合にもオフセット動作に応じて正確な交線 58 つまり目標移動経路 Tc を求めることができる。すなわち図 4 (b) に示すように車体 41 に対してバケット 44 がオフセットしていない場合

には平面 57 が演算され、車体 41 に対してバケット 44 がオフセットされている場合には平面 57' が演算される。オフセットされたときにはバケット先端 44a の現在位置を通過しかつ平面 57' に対してオフセットされた平面 57'' が新たに演算される。そしてこの平面 57'' と 3次元目標地形 51 との交線 58'' が求められ、表示画面 24a 上に表示される。また交線 58'' が目標移動経路 Tc とされこの目標移動経路 Tc に沿ってバケット先端 44a が移動されるように各油圧シリンダ 23 が自動制御される。

【0128】このように本実施形態によれば、傾斜、オフセット等のバケット位置の変化、ずれがあったとしても、目標地形 51 を常に精度よく掘削することができる。

【0129】・移動速度、移動経路の調整

第 2 の制御モードで自動掘削を行う場合上述した実施形態では、移動速度が指定され、一定速度で目標移動経路 Tc に沿ってバケット先端 44a が移動されるものとして説明した。しかし操作レバー 11 の操作量に応じた速度でバケット先端 44a を目標移動経路 Tc に沿って移動させるとともに、操作レバー 12 の操作量に応じた分だけ目標移動経路 Tc をオフセットさせてオフセットされた移動経路 T'c 上に沿ってバケット先端 44a を移動させてもよい。

【0130】すなわち目標移動経路 Tc 上の目標点 $\{y_{to}, z_{to}\}$ は、目標移動経路 Tc の移動開始点 Pto1 から移動距離 S に応じて定まる。これは f_t を移動距離 S、目標移動経路 Tc の関数としてつぎの式で表される。

【0131】

$$\{y_{to}, z_{to}\} = f_t(S, Tc) \quad \cdots (5)$$

のように求まる。

【0132】目標移動経路 Tc 上の移動速度 v を v_0 一定として移動距離 S を求めるとつぎのようになる。

$$S = v_0 \cdot t \quad \cdots (6)$$

となる。ただし v_0 は定数である。

【0134】また移動速度 v を一定とせずに操作レバー 11 の操作量（操作角度） ϕ に応じてサンプリング時刻 n における移動距離 S_n を求めると、 $f_{lever1}(\phi)$ を操作角度 ϕ の関数としてつぎのようになる。

$$S_n = S_{n-1} + f_{lever1}(\phi) \quad \cdots (7)$$

移動速度 v は $v = f_{lever1}(\phi) / t$ となり操作レバー 11 の操作角度 ϕ に応じて変化する。

【0136】移動速度 v_0 が指定されている場合には上記 (6) 式が (5) 式に代入されて目標移動経路 Tc 上の目標点 $\{y_{to}, z_{to}\}$ が演算される。操作レバー 11 が操作された場合には上記 (7) 式が (5) 式に代入されて目標点 $\{y_{to}, z_{to}\}$ が演算される。

【0137】また操作レバー 12 の操作量（操作角度） η に応じて、目標移動経路 Tc に対する逐次のオフセッ

ト量 F_n を求めると、 $f_{lever2}(\eta)$ を操作角度 η の関数としてつぎのようになる。

$$【0138】 F_n = F_{n-1} + f_{lever2}(\eta) \quad \cdots (8)$$

操作レバー 12 が操作された場合には上記 (8) 式で得られたオフセット量 F_n が次式に示すように Y1 軸上の座標値 y_{to} に加えられて新たな目標移動経路 $T'c$ が生成される。

$$【0139】 y_{to} = y_{to} + F_n \quad \cdots (9)$$

Y1 軸方向にオフセットする代わりに Z1 軸方向にオフセットさせてもよい。この場合には上記 (8) 式で得られたオフセット量 F_n が次式に示すように Z1 軸上の座標値 z_{to} に加えられて新たな目標移動経路 $T'c$ が生成される。

$$【0140】 z_{to} = z_{to} + F_n \quad \cdots (10)$$

なお Y1 軸、Z1 軸のいずれにオフセットさせるかは、目標経路 Tc の角度によって自動的に決定される。

【0141】 なおバケット 44 の角度 θ_{to} に関しては一定にすることができる。ただし移動終了点 P_{tom} が動作範囲内に入らない場合には、移動終了点 P_{tom} が動作範囲内に入るようにバケット 44 の角度 θ_{to} を求め、移動開始点 P_{toi} から移動終了点 P_{tom} まで一定の速度で補間してもよい。

【0142】 なお本実施形態ではブーム、アーム、バケットといったリンク機構によって構成される作業機を備えた建設機械に適用される場合について説明したが、これに限定されることなく、あらゆる構造、形式の掘削用作業機を備えた建設機械に適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 図 1 は実施形態の制御装置の構成例を示すブロック図である。

【図 2】 図 2 は実施形態の制御装置の他の構成例を示すブロック図である。

【図 3】 図 3 (a)、(b) は、実施形態の油圧ショベ

ルの幾何学的関係を示す図である。

【図 4】 図 4 (a)、(b) はオフセットブームを備えた油圧ショベルの構成を示す図である。

【図 5】 図 5 (a)、(b)、(c) は法面の形状のデータの内容を概念的に示す図である。

【図 6】 図 6 (a)、(b) は表示画面に表示される内容を説明する図である。

【図 7】 図 7 は表示画面に表示される内容を説明する図である。

【図 8】 図 8 は表示画面に表示される内容を説明する図である。

【図 9】 図 9 (a)、(b) は表示画面に表示される内容を説明する図である。

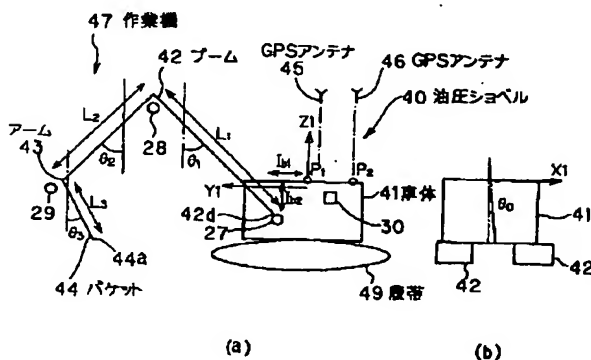
【図 10】 図 10 は掘削制御の内容を説明する図である。

【図 11】 図 11 (a)、(b)、(c) は現在地形データから道路という構造物を生成するまでの手順を概念的に示す図である。

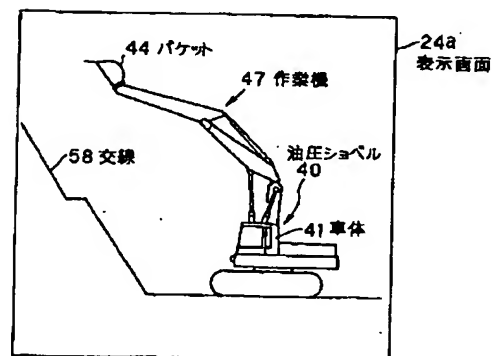
【符号の説明】

- 11、12 操作レバー
- 13 操作切換スイッチ
- 21 作業機制御コントローラ
- 23 油圧シリンダ
- 25 外部コントローラ
- 24 グラフィックインターフェース
- 24a 表示画面
- 44 バケット
- 44a バケット先端
- 50 3次元現在地形
- 51 3次元目標地形
- 57 平面
- 58 交線

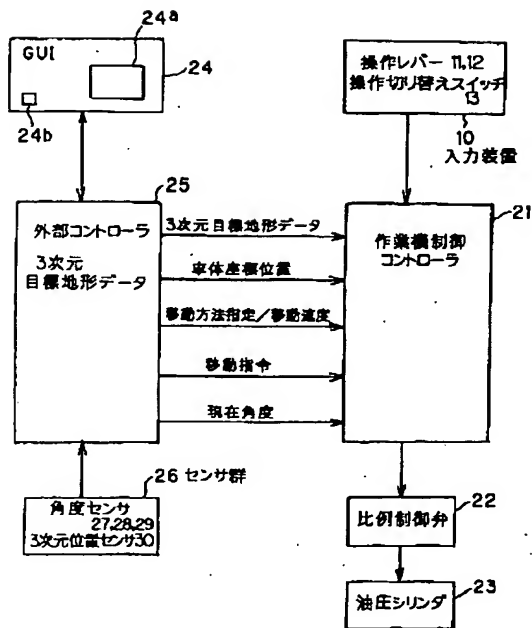
【図 3】



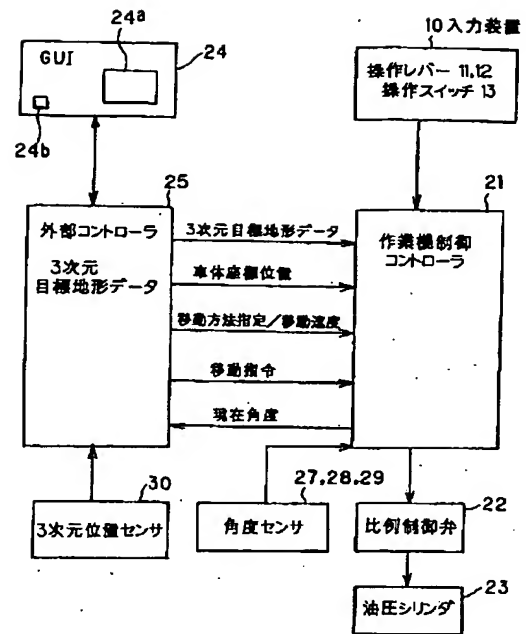
【図 8】



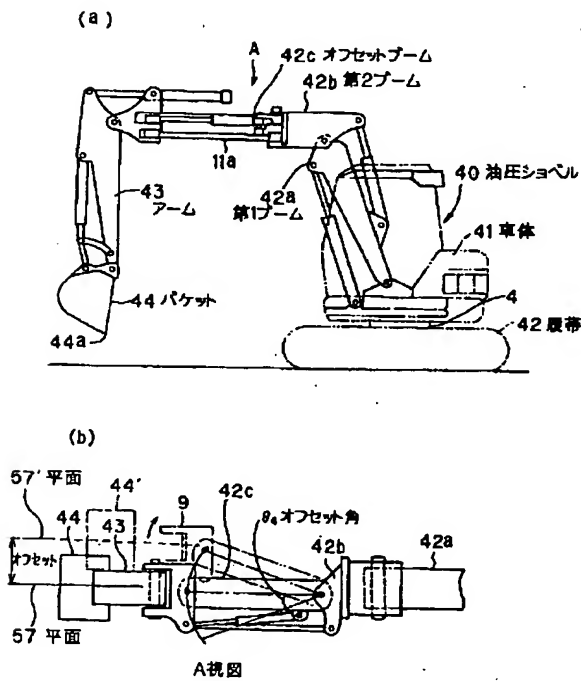
【図1】



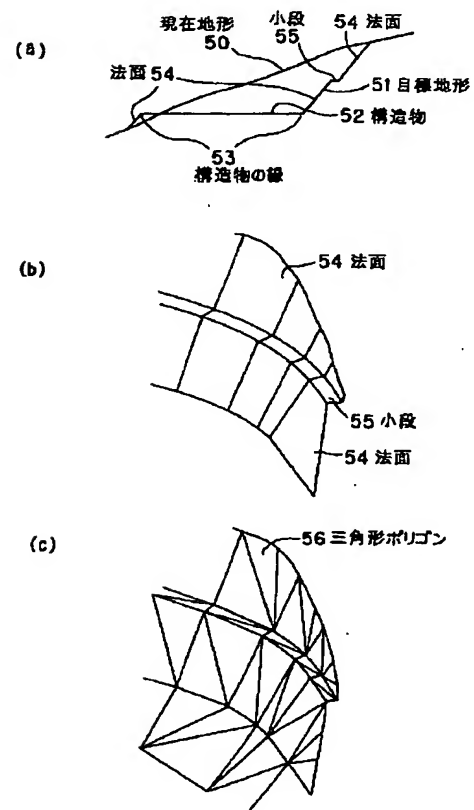
【図2】



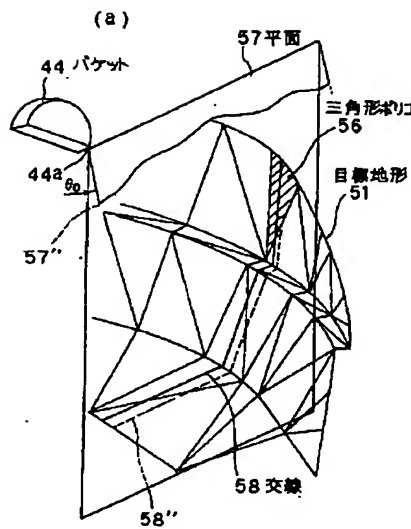
【図4】



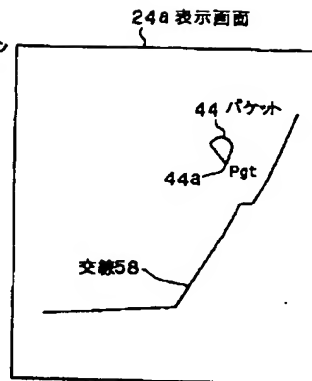
【図5】



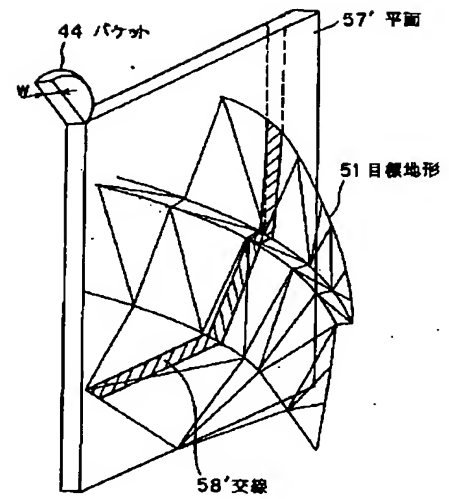
【図6】



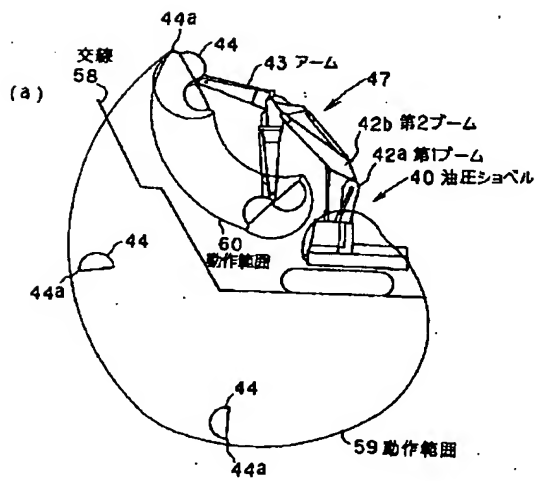
(b)



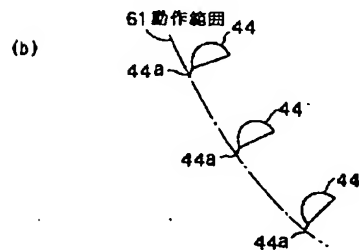
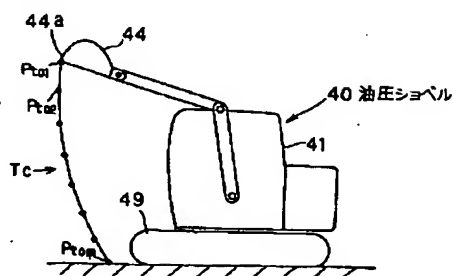
【図7】



【図9】



【図10】



【図11】

